船用機関放射音パワー評価の実用的手法*

鎌田 実** 池田 英雄***
馬場 宣裕***

Engineering Method of Sound Power Determination for Marine Engines

By Minoru Kamata, Hideo Ikeda, Nobuhiro Baba

Sound power level evaluation methods for marine engines are investigated. Sound pressure based methods are discussed in this paper. In the highly reverberant environment such as at engine room in a ship, precision of the sound pressure based methods tends to get worse.

Through minute investigation on 10 test results, the authors introduce a new approach for the sound power evaluation in which mean level of PI index is used for environment correction factor. This approach, named the hybrid method, has both precision and practicality.

船用機関からの放射音パワー評価法について検討を行った。本論文では音圧をベースとする方法を考察する。船舶機関室のように残響性の高い環境では、従来の音圧法の精度はあまり良くない。そこで本報では、計測した10例の結果をもとに、環境補正係数をPIインデックスから評価する新しい方法を提案する。この方法を「ハイブリッド法」と名づけ、それが高精度と実用性を兼ね備えたものであることを示した。

1. はじめに

音のうるささの程度は通常音圧レベルで比較されるが、機械から放射される音の大きさを評価するには、放射音パワーレベルが評価指標となる。これは機械の置かれる環境により、音圧が直接音のみの状態（無響室や広々とした屋外環境に相当）から、壁からの反射音が大きな状態（船内機関室など、極端な状態としては拡散音場の残響室）まで様々に変化

するため、音圧が音の大きさの指標になり得ないためである。音響パワーを直接的に計測する方法としては、音響インテンシティ計測技術が各方面に普及しており、ISOでも計測手順が規格として確立しつつある^{1), 2)}。しかしながら、インテンシティ計測は特別な機器が必要で、手間がかかることから、従来から用いられている音圧をベースとしたパワー評価法^{3), 4), 5)}も使用されている。

船用の大型主機のように超大型の音源へのインテンシティ計測技術の適用は計測例の報告がほとんどなく、特に機関室のような狭い空間に大型音源が存在する音場でのパワー評価への指針は全くない。

このような背景の下で、著者らは船用機関の音響パワー評価法について実際の計測結果の考察を主体とした検討を続けてきている。既に、船用ディーゼル発電機を対象としたインテンシティ計測に関しては文献6)にまとめた。本報は様々な検討・議論の結果、実用性を備えた簡易法の制定が必要であるとの認識に立ち、新たにハイブリッド法と称する評価法を提案するものである。CIMACをはじめとする各種計測法規格の経緯や従来の評価手法の概説、新たな評価法に至る基本的な考え方は文献7)に示してあるので、本報ではその理論的な側面と、実際の計測例をもとにした詳細な考察を述べ、船用機関・

*原稿受付 平成8年2月6日

平成7年秋季講演(平成7年10月11日)

**正会員 東京大学工学部助教授(文京区弥生2-11-16)

***正会員 財団法人海事協会技術研究所(千葉市緑区大野台1-8-3)

機器の音源としてのパワー評価法の指針をまとめる。

2. 計測方法

本章では、各種放射音パワー評価法を簡単に記し、各手法の優劣について多方面からの検討を加える。

2.1 音圧法 音圧法は、音圧計測から平均音圧レベルを算出し、それから各種補正を行い、パワーレベルを求めるもので、基本的に自由音場をベースとするもの、拡散音場をベースとするもの、パワーレベルが既知のものからの比較法がある。

無響室や残響室のような特殊な部屋を用意して実施するパワー計測では、精度の高い評価が可能なものの (ISO3741, 3745), 一般の現場での計測は、そこでの音環境の評価により補正する必要がある、音場のばらつきや補正項の精度により全体の精度が決定される。

3 種の方法のパワーレベル算出式を以下に示す。

<自由音場法>

$$L_w = L_p + 10 \log \frac{S}{S_0} - K \quad (1)$$

<拡散音場法>

$$L_w = L_p - 10 \log \frac{T}{T_0} + 10 \log \frac{V}{V_0} - 14 \quad (2)$$

<比較法>

$$L_w = L_{wr} + (L_p - L_{pr}) \quad (3)$$

ここで、 L_w : 測定対象音源の音響パワーレベル

L_p : 測定対象音源による平均音圧レベル

L_{wr} : 基準音源の校正音響パワーレベル

L_{pr} : 基準音源による平均音圧レベル

S : 仮想測定区画の表面積, $S_0 = 1 \text{ m}^2$

K : 環境補正係数

V : 測定室の容積, $V_0 = 1 \text{ m}^3$

T : 測定室の残響時間, $T_0 = 1 \text{ s}$

すべての方法の精度に関連して、まず暗騒音レベルが問題となる。測定対象以外の音源による音の影響は、音響インテンシティ法でなければキャンセルできない問題であるが、従来の取扱いでは測定対象より 3 dB 以上低ければ、適当な補正值を用いることで処理できるとしている。

次に、平均音圧レベルを求める際に、何ヶ所の平均を取るべきかという問題がある。これは当然対象の大きさに依存するはずで、船用大型主機のような

超大型音源を扱う場合には、点数規模と音場の状態が、平均レベル算出に十分であることを確認する必要がある。DIN が 1987 年に制定した内燃機関用の基準⁸⁾では、対象の大きさにより 4 種 (9, 12, 15, 19 点) の点数規模・測定位置を指定しており、その後の ISO などの基準は大体それになっている。計測位置は対象音源の表面から 1 m としているものが多いが、形状が凹凸で直方体という難い対象の場合には、厳密に守ることは困難である。

自由音場法では、反射波のための環境補正を行うが、この補正項の評価には、現場の環境を知る必要がある。具体的には、室の等価吸音面積が必要になるが、これは室の壁面吸音率と壁面積、あるいは室の容積と残響時間の値の情報から算出することになる。従ってこれらの値を正確に知っておかなければならない。また環境補正係数の最大値は通常 7 dB とされているが、それより大きい場合の扱いは明確でない。

拡散音場法では、室の残響時間と容積の値を知る必要があるほか、音場のばらつきが小さく、求めた平均音圧レベルが代表値としてよいかどうかを確認しなければならない。

比較法では、基準音源と測定対象音源の大きさの違いによる計測位置の偏りの影響を把握しておく必要がある。

2.2 インテンシティ法 音響インテンシティ計測による放射音パワー評価は、インテンシティに面積を乗じることでその面からの通過パワーが得られるので、音圧法に比べて直接的である。前述の通り、ISO の計測基準が構築されており、船用機関のような大型音源、メーカ運転場や舶内機関室のような悪環境における計測法については、別に検討中である。

インテンシティ法を考える際に重要なのは、必要とされる計測精度と、実用性に関わる計測規模のトレードオフの問題である。この方法では、原理的に細かく計測すれば、細かいほど真のパワーに近い評価値が得られるはずであるが、一方で計測点数が千点規模になれば計測に要する時間が数十時間となり実際面を考えると実現困難である。これまでの検討の結果、計測環境が悪い状況下でも、誤差 1 dB 程度の要求に対して測定点数 200 点以上、誤差 2 dB を許すのであれば測定点数 100 点程度で評価可能という結論を得ているが、100 点のインテンシティ測定

でも、計測時間は2時間以上必要になり、それだけの間、計測対象を一定で運転するのは、コストもかかり実用性に乏しい。掃引法で連続計測することにより、やや時間を短縮することは可能であるが、計測時間を半分にするのがせいぜいである。逆に掃引法では、足場が悪くて連続掃引が困難な箇所も予想され、場合によっては離散点法との併用も必要となる。

またインテンシティ法では、ペアマイクからなるインテンシティプローブと2ch解析装置が必要で、音圧法で用いる単なる騒音計に比べると、費用がかかる。

2.3 各手法の優劣 各手法の基本的な特徴は前述の通りであるが、ここではさらに多面から、それらの優劣を考えてみる。

まず、いかなる目的で放射音パワーが必要であるのかという点に関して考察する。設置場所の環境条件を左右されずに音源となる機械のうるさを判断する指標として、音響パワーレベルを取り扱うわけであり、その意味では評価値の精度はよいに越したことはない。特に音の発生はその機械のひとつの性能を表しており、最終的に船舶機関制御室の騒音レベルが基準値に収まるかどうかのみならず、発生音の絶対的なレベルの小ささはセールスポイントの一となり得る。従って、メーカーも顧客も正確な値を望んでいる。一方、船用機関で音響計測ができる場所は、運転上動力吸収が必要であるので、メーカーの試験ベンチか実船に搭載されてからとなるが、いずれも計測環境としては非常に悪い。特に船内機関室は狭い空間であるので、残響性が大きく、同一の機関でも評価値が大きめにでる傾向がある。また鋼板で囲まれた環境であるので、固体伝播音の影響も無視できない。

このような状況の下で、従来は通常、ハンディタイプの騒音計で機関の回りの複数点(10~20点程度)の音圧計測により平均音圧を算出し、それから自由音場法で補正の後、音響パワーレベルを求めていた。これによると30分程度の計測時間で、容易にパワーレベルの評価が可能なものの、環境補正のために室の音環境条件がいくつか必要になり、正確に求められるものはよいが、推定値しか得られないものがあると、誤差要因となる。また通常、環境補正係数 K の値は最大7dBと規定されているが、機関室では、インテンシティ法によるパワー評価値から K を逆算

してみると、7dBを超える場合が多くあり、そもそも自由音場法は適用不可で、(室内の音圧のばらつきはかなりあるものの)拡散音場法の適用の方がふさわしい環境かもしれない。さらに評価値の精度(標準偏差)が5dBということは、異なる環境下の異なる対象の比較で、差が3~4dB程度であれば、優劣の評価がほとんどつけられないことになる。従って、実用上必要な精度が確保されているかという点に関して疑問が残る。

拡散音場法や比較法は、船用主機のような超大型音源への適用実績が乏しく、詳しい検討が必要である。

一方、最近各方面で普及しているインテンシティ法は、前述の通り、計測が大がかりとなり、経費がかかるのが大きな難点である。著者らの検討により、精度との兼ね合いで、適当な規模までの測定点数減少が可能であることがわかっているものの、それでも音圧法の倍以上の計測時間がかかってしまう。離散点法では、常に計測位置がその区画を代表しているかどうかで、精度に大きく効くため、必要以上の点数低減は危険である。掃引法でも、掃引間隔を適切にしなければならず、不安定な足場で一定速度の掃引は困難な場合もあり、船用機関を対象とした実績も乏しく、さらに検討が必要であろう。しかしながら、室環境の評価が不要で、パワーが直接的に求められる点は大きな魅力であり、高精度が要求され、十分な規模の計測が実施可能な場合は、インテンシティ法を採用すべきである。

3. ハイブリッド法の提案

前章にまとめたように、船用機関を対象として放射音パワー評価を行う方法としては、低精度ながら実用性の点では音圧(自由音場)法、高精度が必要な場合にはインテンシティ法という図式が成り立つが、それぞれ欠点も多く、実用性を保ちつつ精度を高められる方法が望まれる。

そもそも音圧法では、計測する音圧はスカラ値であり、音の回り込む性質により計測位置がやや変化しても、音圧値はあまり大きく変化しない。ISOなどで規定している位置・点数規模での音圧測定値の最大最小の差は10dB程度以下なので、平均音圧の算定値の精度はかなり良いはずである。しかし環境補正項には、十分な精度の得難い現場の残響時間か

壁面の吸音率の情報が必要で、場合によっては大きな誤差要因となる。

そこで、インテンシティ計測で通常同時に得られる音響指標であるPIインデックス (δ_{PI}) を音圧法のこの環境補正に役立てることを検討してみる。

PIインデックスは各点の音圧レベルとインテンシティレベルの差であり、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\delta_{PIi} &= L_{Pi} - L_{Ii} \\ &= 10 \log \frac{p_i^2 I_o}{p_o^2 I_i}\end{aligned}\quad (4)$$

一方、(1)式の自由音場法による音響パワーは、インテンシティ法で求められる音響パワーと等しいので、次の(5)式が成立し、(6)式のように環境補正係数を実現できる。

$$L_w = 10 \log \frac{p_i^2}{p_o^2} + 10 \log \frac{S}{S_o} - K \quad (5)$$

$$= 10 \log \frac{\sum I_i S_i}{W_o}$$

$$K = 10 \log \frac{p_o^2 S}{p_i^2 \sum I_i S_i} \quad (6)$$

(4)、(6)式を比較すると、片方は各点レベルでのもの、もう片方は平均レベルでのものという違いがあるものの、強い関連があることがわかる。すなわち(4)式の各点のPIインデックスの平均をとってみると、対数の中と外の平均という違いがあるものの、 K と δ_{PI} は同じように表現できることがわかる。

従って、 δ_{PI} の平均で K を代用させることを考えてみる。本来PIインデックスは各点での残響度(反射波の影響度合い)を表すもので、室全体の音場の状況を表すためには多数点の平均を取るべきであるが、ここでは音圧法の簡便さを維持するために、音圧法計測点数の規模(10~20点程度)での平均を考慮することとする。もちろん、音場の状況によっては、インテンシティレベルは極めて小さかったり、負になっている場合もあり、それらを平均に含めると、その影響が結果を支配する恐れがあるので、 δ_{PI} が20dBを超えているものは平均に入れないことにした。ここで提案した音響パワーレベルの新たな評価法は、音圧法をベースとしながらもインテンシティ計測を必要とするので、「ハイブリッド法」と名づけることにする。

表1 計測対象と計測規模

計測対象	計測枠の大きさ L×B×H (m)	インテンシティ計測の代表的メッシュ大きさ (m)	計測点 総数	計測時間 (hrs)	音圧法の 評価点数
ME-A	13.5×8.1×15.6	1.5×1.5 (0.75×0.75)	578	11	19
B	9.6×7.5×11.4	1.9×1.6	124	2.5	19
C	14.0×9.0×15.4	1.6×2.5	215	5	19
D	10.4×7.5×10.6	1.8×3.0	96	2	19
E	10.3×12.0×13.2	1.9×3.0	96	2	19
F	11.9×8.1×12.1	2.5×2.8	95	2	19
G	11.7×7.5×10.4	2.2×2.2	75	1.5	19
DG-A	5.1×1.9×2.4	0.3×0.3	470	7	15
B	5.2×2.0×2.5	0.4×0.4	264	3.5	12
C	6.0×2.4×3.0	0.4×0.4	364	4.5	19

このハイブリッド法は、基本的に音圧(自由音場)法をベースとしているため、計測時間など実用性は高く、かつインテンシティデータから環境補正係数を評価できるため、室の音環境情報を別に求めておく必要がないなど、利点が多い。ただし、計測規模は音圧法と同様であるが、使用機器にはインテンシティプローブや解析機が必要となってくる。また、本質的には音圧法であるので、他の音源の影響をキャンセルすることはできないので、それについては従来の方法と同様な形で補正する必要がある。ハイブリッド法の精度については、次章で検討する。

4. 計測結果と考察

本章では、著者らが今までに計測を行った10例(主機(以下MEと記す): 7、発電機セット(以下DGと記す): 3)での評価を行い、それぞれの手法の有効性について考察する。

4.1 計測結果 計測対象の機関の諸元、音響インテンシティ計測の規模の概要を表1に示す。(詳細については、文献(6)、(7)を参照されたい。)それぞれのインテンシティ計測のメッシュ区画の大きさ並びに点数規模は、計測時間の制約のもとで決定したもので、DG3種とME-Aを除いて十分であるとはいえない。しかしながら、既報の考察で述べたように、インテンシティの点数規模を約半分に減じたときでも、パワー評価値の変化は1dBに満たないので、計測実施規模でのインテンシティのよるパワー評価結果をここでは一応真値と見なして、後の議論を行うことにする。また評価はオーバーオール値とするが、インテンシティプローブのスペーサ間隔を12mm固定としたため、リニアスケールでは125Hzから4kHzのバンドの間の総和としている。音

表2 各手法による放射音パワー評価値
(単位dB, 上段がA特性のオーバーオール値, 下段が125Hz~4kHzバンドのリニアオーバーオール値)

計測対象	真 値	自由音場法	拡散音場法	比較法	ハイブリッド法
ME-A	116.5 120.1	120.7 124.4	=====	=====	117.4 121.4
B	119.8 120.5	123.3 124.9	=====	=====	118.9 119.5
C	116.9 122.9	122.6 128.8	121.2 127.4	110.8 117.0	118.6 123.3
D	118.6 122.9	120.6 124.9	=====	117.7 122.0	116.5 121.7
E	122.7 123.3	122.3 122.9	=====	123.0 123.6	121.3 122.6
F	119.1 120.6	118.4 119.8	118.4 119.8	119.1 120.7	117.7 120.2
G	118.9 119.9	119.6 121.1	121.8 123.3	122.6 124.1	118.8 120.3
DG-A	111.9 114.2	114.5 117.0	=====	=====	111.0 113.6
B	112.0 113.9	114.1 115.9	=====	=====	111.2 113.2
C	113.9 115.8	116.2 118.0	=====	=====	114.4 116.3

圧をベースとする方法では、音圧レベルの平均をとるが、この平均点数については、対象の大きさに応じて、DINで定めたもの(9ないし19点)を適用することとし、規定位置での計測点がないものは回りの点から補間等で値を与えた。

それぞれの手法によるパワー評価値の結果は表2のようになった。以下、これをもとに考察する。

4.2 音圧自由音場法 まず、音圧自由音場法では、計測環境の諸数値が必要となるが、残響時間計測を行ったME-C, F, GおよびDG-B, Cについては、室の四隅で計測した残響時間の平均値を用いて補正項を評価した。その他の計測対象については、補正項の評価に平均吸音率を使用する方式を用いた。また、計測室の容積については、メーカの運転場にしろ、船内機関室にしろ、形状が入り込んでおり、実容積を細かく算出しても無意味と思われるので、DGについては一辺15mの立方体と、MEについては一辺25mの立方体と見なして評価することとした。結果を見ると、メーカの運転場での計測事例はまずまずの評価がなされているものの、船内機関室での事例はやや悪い。特にMEの場合に誤差が大きくなっている。この件に関して、データを詳細に検討してみると、音圧法の評価がいずれも高めに出ており、すなわち環境補正係数 K が小さめになっている。通常、 K の最大値は7dBと規定されているが、船内機関室での事例で、パワーの真値

から平均音圧レベル、計測区画面積から K を逆算すると7を大きく超えることもあり、残響度の極めて大きい劣悪な計測環境であることがわかる。ところが、従来の評価法で算出した K の値は7dBを超えることは少なく、結果的にパワー評価が大きめとなる。このことに関しては、船内での固体伝播音の影響も考えられるが、その分離法や、その値のレベル等についての詳しい検討はなされていないので、ここでは議論を行わない。以上まとめると、音圧自由音法による放射音パワー評価では、メーカ運転場での計測においては誤差レベル3dB未満の評価が可能である。しかし船内機関室での計測では、誤差がやや大きく、かつ評価値が大きめに出る。これは環境補正項の値が小さめに評価されるためであり、評価法の改善が必要である。また、精度に直接効く計測室環境の諸数値の算定には、別に残響時間などの計測が必要になる点もこの手法の欠点といえる。

4.3 音圧拡散音場法 次に拡散音場法を検討してみる。この方法の適用は、残響時間計測を実施し、かつ音場に対して音源が大きいME-C, F, Gに対して行ってみたが、結果はほぼ同等であるといえる。計測室容積に占める音源体積の比率が大きい船内機関室の事例では、自由音場法に比べやや評価値が良くなる傾向がみられるが、事例の数が少ないので、厳密な比較による結論は導けない。今回の計算では、計測位置を自由音場法と同一としているため、直接音の影響が大きい部位があると精度が低下すると考えられるが、ME-Cでは残響度のかなり高い環境で、精度がやや良くなったものと思われる。しかしながら真値との開きはまだまだ大きい。この方法の適用に当たっては、音場の状況(音圧のばらつき)がどの程度まで許されるのか、別の言葉で言えば拡散音場と見なせるための要件をきちんと定めてやらねばならず、対象が船用機関のように大型で、JIS Z8733のC法⁹⁾の条件が満たされない場合に対する対応が必要である。

4.4 比較法 比較法については、基準音源パワー評価をインテンシティで行う際にメッシュの設定がどう影響するかを見るために行った実験データを使用して評価してみたものである。計測点は拡散音場法の時と同一で、やはりJISの規定を全て満たす条件ではないが、手法の有効性をみるため検討してみた。結果はME-Cで値が異常に小さく出たほかは、他の音圧法と同等のレベルである。船内機関

室では床が何層にも分かれていることや、機関の運転時と停止時で暗騒音レベルが異なったなどの原因が考えられるが、詳細は不明である。この比較法では、素性の知られた基準音源を用意する必要があるが、計測室の諸数値を知る必要がないため、あまり大きくない機関に対しては簡便で有用な方法であるといえる。

4.5 ハイブリッド法 最後に、本論文で提唱する「ハイブリッド法」の考察を行う。まず結果の表から、他のどの方法よりも真の値からの偏差が小さく、かつばらつきも小さいのがわかる。これから、本手法の基本的な考え方が有効であるといえる。計測対象、環境の違いをみると、環境補正係数の真値（インテンシティから求めたパワーレベルと平均音圧レベルなどから換算した値）は、メーカ運転場でDGの場合3～4 dB、MEの場合6～8 dB、船内機関室でDGの場合5～6 dB、MEの場合9～12 dBであり、PIインデックスよりそれぞれの場に対応した値が評価できている。ここではさらに、PIインデックスの平均値の評価法について、ME-Aのデータに基づき考察をすすめる。

環境補正係数として用いるPIインデックスの平均値を求める際、各面2～6点程度の代表点を使用することによる精度への影響が問題となる。たまたまインテンシティが極端に小さいか、負の値の場合、PIインデックスが巨大となり、平均値に大きく作用してしまうので、ハイブリッド法での評価の際は、20 dBを超えるものを平均に繰り入れないようにしている。この点の妥当性をみるため、次のような評価をしてみた。表3は左側面の99点のA特性オーバーオールPIインデックスである。（100を超えるのはインテンシティが負のところである）これから δ_{PI} の絶対値で平均をとると、平均値は13.0、標準偏差は3.9であった。これから数点のサンプリングで全体の平均レベルを推定するのは、過大な値に影響される可能性が高く危険である。そこで、これからインテンシティ負値のところを除外すると90点で標準偏差が3.4、さらに20 dB以上を除去すると79点で標準偏差が3.2となり、ばらつきが減少する。母集団のばらつきが減少しているということは、数点の平均値で評価が向上することになる。この例では、最終的な採用点数は6点であるが、除外すべきものを除くと4点で、その平均値は多数点の時と大差はない。結局、 δ_{PI} が極端に大きい点を平均に繰

表3 ME-A左側面のPIインデックス
(単位dB)

9.2	7.2	7.6	8.3	8.9	11.2	13.3	176.0	176.5
8.9	7.9	8.1	9.6	10.6	11.0	16.0	183.1	186.8
8.4	7.7	7.8	10.1	11.3	15.9	173.5	180.0	188.7
14.5	13.0	11.9	13.5	12.9	13.5	19.6	11.2	10.9
14.5	11.9	12.8	11.9	11.8	11.7	10.1	9.9	10.3
200.2	13.1	192.8	17.1	19.6	15.3	12.3	13.3	12.5
192.9	196.3	195.5	12.7	194.7	14.2	10.3	12.2	8.9
16.6	16.2	17.4	185.2	190.5	13.6	12.0	12.0	5.3
17.9	182.2	16.7	190.4	189.8	15.8	13.0	6.8	6.6
17.2	10.1	14.7	10.9	13.4	11.6	11.1	12.1	7.6
14.1	16.8	21.9	13.6	14.7	19.1	193.4	13.2	9.4

網掛け部は平均計算時の選択点

り入れると、平均値レベルがずれてくるものの、20 dB以上の点を除外して考えれば、平均値レベルがあまりずれないで、安定した評価値となる。さらにしきい値を下げて15 dBとすると、データのばらつきはさらに減るものの、平均値レベルのずれが大きくなってしまう。従って、20 dB以上の極端に大きい値を落として、残りの点で平均を取るということで、ほぼ妥当なレベル評価になるといえよう。ちなみに平均をdBの数値で行うか、リニアスケールに直して行うかについては、この程度のばらつきのデータでの平均計算であるので大した差はなく、計算が容易なdBのままの単純平均を採用することとしている。ME-Aの他の計測面でも同様な検討を行ってみたところ、同様な傾向の結果となり、最終的にはこれらを総合した平均化であるので、ここで用いた方法は、極めてよい環境補正係数の評価ができるといえる。

このように、本報で提案したハイブリッド法によれば、極めて安定で、精度の良い放射音パワーの評価が可能になる。本法は、インテンシティ計測装置は必要になるものの、音圧法の簡便さを有しつつ、部分的にインテンシティ情報を援用することでよい精度を得ることができ、実用的手法としては優れた方法であるといえる。計測精度は著者らの経験では、標準偏差が2 dB以内と推定される。基本的に音圧をベースとする方法であるので、インテンシティ法のように他の音源の影響をキャンセルすることはできないが、これは従来からの補正法を用いればよいと思われる。

参考までに、ハイブリッド法での評価の生データの数例を付録に示しておく。

5. ハイブリッド法による放射音パワー評価法

本章では、本論文では提唱した放射音パワー評価の実用的手法の手順を簡単にまとめる。

＜計測点＞ 計測対象表面から約1m（最低0.5m）離れたところに計測面を設定し、対象を取り囲む基準直方体六面体を考える。対象の大きさに応じて9, 12, 15, 19点の計測点の位置、プローブの方向をDINの規格⁸⁾の図によって定める。

＜外部騒音の扱い＞ 計測対象以外から放射される音については、ISOなどで従来からなされている補正を考える。

＜計測＞ 外部騒音の評価のため計測対象停止時の音圧計測を行い、その後、対象を実働させ本計測に入る。各点においてペアマイクにより近接二点の音圧を計測する。通常125～4kHzまでをカバーするスペーサ間隔12mmを使用するが、必要に応じて変更する。計測時間は、記録・解析方法に依存するが、1点20秒を標準とする。

＜解析＞ 該当周波数域でのオクターブまたは1/3オクターブバンドの音圧レベル、インテンシティレベルを解析機により計算する。

＜平均音圧レベル、平均 δ_{PI} の計算＞ 計測点（9～19点）での平均音圧レベル、ならびに20dB以上を除外した δ の平均を求める。

＜放射音パワーレベルの計算＞ 環境補正係数に平均 δ の値を代入して、(1)式により放射音パワーレベルを算出する。

その他計測にまつわる細かな注意点は文献8)などを参照されたい。

6. 結 論

本論文では、船用機関の放射音パワー評価の方法について、種々の面から検討を加えた。その結果、基本的には音圧自由音場法に基づくが、その環境補正にあたりインテンシティ計測情報を援用させることで精度を向上させることができることがわかった。この手法を「ハイブリッド法」と名づけ、その有効性について考察した。本法によれば、音圧法と同等

の計測規模で、他の方法で環境条件の評価を行わなくても、精度良くパワー評価が可能になる。

終わりに、計測に関してお世話いただいた船社、造船所、機関メーカーの関係各位、また評価方法のあり方について熱心なご議論を賜った学会振動音響研究委員会第2小委員会のメンバの方々、手法についての有益な示唆を下さった英サウサンプトン大のFahy教授に厚くお礼を申し上げて、むすびとする。

参 考 文 献

- 1) ISO/DIS9614-1, Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity-Measurement at discrete points (1989)
- 2) ISO/DIS9614-2, Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity-Measurement by scanning (1994)
- 3) ISO 3743, Acoustics- Determination of sound power levels of noise sources-Engineering methods for special reverberation test rooms (1976)
- 4) ISO 3744, Acoustics- Determination of sound power levels of noise sources-Engineering methods for free-field conditions over a reflecting plane (1981)
- 5) ISO/CD3746, Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources-Survey method employing an enveloping measurement surface over a reflecting plane (1991)
- 6) 馬場ほか3名, 音響インテンシティ計測法を利用したディーゼル発電装置の音響パワー計測, 船機誌, 27-4 (平4-4) 353
- 7) 鎌田, 船用大型主機の放射音パワー評価法, 船機誌, 30-11 (平7-11), 804
- 8) DIN 45635-11, Measurement of noise emitted by machines-Airborne noise emission, enveloping surface method-Internal combustion engines (1987)
- 9) JIS Z8733, 一般の音場における音響パワーレベル測定方法 (昭61)

付 表

計測点 番号	ME — A						ME — G						DG — A					
	音圧 (OA)		インテンシティ (OA)		P1インデックス (OA)		音圧 (OA)		インテンシティ (OA)		P1インデックス (OA)		音圧 (OA)		インテンシティ (OA)		P1インデックス (OA)	
	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性	A 特性	L 特性
1	95.4	98.4	88.1	91.7	7.3	6.7	98.6	99.4	95.6	95.7	3.0	3.7	96.9	100.3	91.8	95.2	5.1	5.1
2	96.1	98.9	90.2	93.1	5.9	5.8	100.0	100.6	97.8	97.9	2.2	2.7	98.4	102.1	86.2	90.7	12.2	11.4
3	95.9	99.1	88.1	90.9	7.8	8.2	97.7	98.5	94.2	94.6	3.5	4.0	101.2	103.5	97.1	98.5	4.1	5.0
4	94.6	98.1	86.9	90.4	7.7	7.7	96.2	97.1	92.9	92.8	3.3	4.4	102.3	104.3	98.5	99.8	3.8	4.5
5	95.1	98.8	85.6	87.0	9.5	11.8	96.9	98.0	93.4	93.8	3.6	4.2	103.9	106.0	100.5	102.3	3.4	3.7
6	95.5	99.5	-77.6	-88.5	173.1	188.0	94.4	96.4	87.0	88.8	7.4	7.6	102.5	104.0	99.6	101.7	2.9	2.3
7	96.4	102.8	84.2	96.6	12.2	6.2	94.6	96.8	88.0	90.9	6.6	5.9	101.5	103.9	98.0	100.3	3.5	3.6
8	97.2	103.0	80.1	-87.5	17.1	190.5	94.9	97.5	88.2	91.8	6.7	5.7	98.2	101.2	89.5	95.0	8.7	6.2
9	97.7	103.8	82.2	91.8	15.5	12.0	94.7	97.3	86.7	90.5	8.0	6.8	96.0	98.6	-85.4	-86.0	181.4	184.6
10	99.6	102.6	92.5	95.2	7.1	7.4	98.6	99.6	91.8	92.9	6.8	6.7	99.7	102.3	93.8	96.7	5.9	5.6
11	106.4	106.3	104.2	103.5	2.2	2.8	100.9	102.8	93.2	95.1	7.7	7.8	99.9	102.4	92.0	92.3	7.9	10.1
12	99.7	102.3	90.3	93.3	9.4	9.0	100.8	101.9	94.4	95.6	6.4	6.3	96.3	99.4	88.7	92.0	7.6	7.4
13	99.4	104.3	84.6	91.5	14.8	12.8	97.8	99.4	90.1	92.2	7.7	7.1	95.8	99.6	89.2	94.3	6.6	5.3
14	99.0	103.4	84.0	84.4	15.0	19.0	98.9	100.3	91.8	93.8	7.1	6.6	99.8	102.9	95.9	99.6	3.9	3.3
15	98.3	103.2	82.5	84.3	15.8	18.9	98.2	99.4	90.9	92.4	7.4	7.0	101.2	104.0	97.9	100.4	3.3	3.6
16	96.2	100.8	89.8	91.4	6.4	9.4	97.4	98.4	93.3	93.8	4.2	4.6	=====	=====	=====	=====	=====	=====
17	97.1	102.7	86.6	88.3	10.5	14.4	95.3	96.9	86.9	89.7	8.4	7.2	=====	=====	=====	=====	=====	=====
18	95.9	99.9	87.5	92.3	8.4	7.6	95.8	97.3	91.3	92.1	4.5	5.2	=====	=====	=====	=====	=====	=====
19	99.6	105.8	-81.9	95.7	181.5	10.1	97.1	100.1	-81.6	-89.3	178.7	189.4	=====	=====	=====	=====	=====	=====
平均	98.8	102.5	=====	=====	10.3	10.0	97.7	99.2	=====	=====	5.8	5.7	100.3	102.8	=====	=====	5.6	5.5